

**Índices de capacidad, producto fuera de especificación y pérdidas asociados al proceso
de llenado de frascos en una empresa del área cosmética.**

Presentado por:

Carlos Arturo Doncel Arteaga

David Esteban Marín Franco

Fundación Universitaria Los Libertadores
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas
Especialización en Estadística Aplicada
Bogotá D.C., Colombia
2019

Índices de capacidad, producto fuera de especificación y pérdidas asociados al proceso de llenado de frascos en una empresa del área cosmética.

Presentado por:

Carlos Arturo Doncel Arteaga

David Esteban Marín Franco

en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar al título
de

Especialista en Estadística Aplicada

Asesorada por
Ruth Milena Suarez Castro
Docente

Fundación Universitaria Los Libertadores
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas
Especialización en Estadística Aplicada
Bogotá D.C., Colombia
2019

Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C., junio de 2019.

Contenido

Contenido	4
Resumen	8
Introducción	9
Planteamiento del Problema.....	11
Objetivo General	14
Objetivos Específicos.....	14
Marco Conceptual.	15
Calidad	15
Sistema de dosificado.....	16
Producto fuera de especificación.	17
Normatividad para preempacados.....	18
Capacidad de Proceso	19
Características de los datos	22
Población y Muestra.....	24
Software estadístico R.....	25
Metodología	27
Descripción de la data	27
Diseño Muestral.	28
Muestreo Aleatorio Simple	29

Descripción de la Muestra.....	31
Prueba de Normalidad.....	32
Análisis de resultados de los datos.....	35
Índices de Capacidad y Categorización	35
Índice de capacidad Boquilla 1	37
Índice de capacidad Boquilla 2	39
Índice de capacidad Boquilla 3	40
Índice de capacidad Boquilla 4	42
Índice de capacidad Boquilla 5	43
Índice de capacidad Boquilla 6	44
Índice de capacidad Boquilla 7	45
Índice de capacidad Boquilla 8	46
Categorización de Eventos.....	47
Categorización de la capacidad del proceso.....	47
Pérdidas Totales	48
Riesgo generalizado	49
Conclusiones y Recomendaciones	51
Bibliografía	53

Lista de Tablas

Tabla 1 Valores del Cp y su interpretación	20
Tabla 2 Encabezado Data Llenado.....	27
Tabla3 Margen de error según el tamaño de la muestra	30
Tabla 4 Relación poblacional de cada boquilla.....	31
Tabla 5 Descripción Cuantitativa de la data	31
Tabla 6 Contraste de hipótesis de normalidad	33
Tabla 7 Simulación de resultados boquilla 1	38
Tabla 8 Simulación de resultados boquilla 2	39
Tabla 9 Simulación de resultados boquilla 3	40
Tabla 10 Simulación de resultados boquilla 4	42
Tabla 11 Simulación de resultados boquilla 5	43
Tabla 12 Simulación de resultados boquilla 6	44
Tabla 13 Simulación de resultados boquilla 7	45
Tabla 14 Simulación de resultados boquilla 8	46
Tabla 15 Resumen de índices.....	47

Lista de Figuras

Figura 1	Indicador de pérdidas "Yield Loss"	13
Figura 2	Sistema de dosificación Múltiple.....	17
Figura 3	Distribución Normal	23
Figura 4	Relación entre población y muestra.....	25
Figura 5	Relación tamaño de muestra y error	30
Figura 6	Prueba de normalidad gráficamente	34
Figura 7	Capacidad de proceso boquilla 1	37
Figura 8	Capacidad de Proceso boquilla 2.....	39
Figura 9	Capacidad de Proceso boquilla 3.....	40
Figura 10	Capacidad de Proceso boquilla 4.....	42
Figura 11	Capacidad de Proceso boquilla 5	43
Figura 12	Capacidad de Proceso boquilla 6.....	44
Figura 13	Capacidad de proceso boquilla 7	45
Figura 14	Capacidad de proceso boquilla 8	46
Figura 15	Índices de Capacidad Conjunta	48
Figura 16	Pérdidas Totales sobrellenado	49
Figura 17	Riesgo generalizado por boquilla	50

Resumen

El proyecto pretende calcular los índices de capacidad que permiten determinar la capacidad de llenado de una máquina dosificadora, calculando de manera adicional el producto fuera de las especificaciones mínimas, que involucran sanciones de tipo legal y las pérdidas de sobrellenar los envases que se relaciona con pérdidas monetarias para la empresa. Se aborda inicialmente el método muestral para obtener una cantidad de datos que satisfagan las cualidades del cálculo, con una significación igual a 0.05 que genere confianza en los resultados; posterior a esto se adelantan los cálculos de capacidad del proceso con los índices Cp, Cpk y K, que determinan que tan apropiados son los equipos para el desarrollo de la actividad.

Con los estadísticos obtenidos se generan simulaciones para determinar el número de unidades que no cumplen con los parámetros asignados; por último, el cálculo de los equipos fuera de especificación contemplando el número de productos que podrían llegar a generar un riesgo legal.

Se concluye después de los cálculos de Capacidad, producto fuera de las especificación y pérdidas que los subsistemas de dosificado para el equipo medido no son capaces de cumplir con los objetivos propuestos por la empresa dueña del sistema.

Introducción

La presente investigación se refiere al cálculo de la capacidad, productos fuera de especificación y pérdidas que involucra un desarrollo sistemático de un estudio de datos, en primera instancia se debe considerar la calidad de los datos; esto dado al diseño muestral que se aborda para el cálculo de la muestra de la base de datos. Para este estudio el cálculo de las muestras se determina por medio de un muestreo simple con un error del 0.05, adicional se comprueba la normalidad de los datos muestrales por medio de prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov.

La característica principal de este tipo de datos necesarios para el desarrollo y cálculo de los índices de capacidad, se aborda en la teoría de la capacidad de proceso que consiste principalmente en conocer la variabilidad de los resultados por medio de una curva de densidad trazada sobre las especificaciones, permitiendo conocer qué porcentaje de la curva se encuentra fuera de lo especificado; para el análisis se realizan simulaciones de producción de 1000 unidades con lo cual se calcula el número de unidades posibles por debajo de la especificación inferior que simbolizarían riesgo legal. De igual manera para el riesgo de obtener unidades sobre la especificación superior se simula la distribución con los estadísticos correspondientes a la media y desviación estándar, para esta ocasión es más importante conocer la cantidad de material adicionado de más, antes que el número de unidades que excedieron la especificación. Al conocer la cantidad de material perdido por cada 1000 unidades producidas, se determina el índice de pérdidas. Por último, se realizan las gráficas de categorización por colores cuya finalidad y uso corresponde a clasificar de mayor a menor la capacidad.

La investigación de los índices de capacidad del proceso en esta máquina de dosificado mide cuánta variación natural experimenta el proceso en relación con sus límites de especificación y les permite a procesos diferentes ser comparados con respecto a qué tan bien lo controla una

organización. Esto se realizó con la intención de calcular los productos fuera de especificación y las pérdidas de cada uno de los subsistemas de dosificación de la maquina estudiada y así saber la cantidad de producto por debajo de los límites y la cantidad de gramos dosificados de más que generan sobrecostos a la empresa.

Planteamiento del Problema

El desarrollo industrial exitoso se logra involucrando directamente el control de los procesos, para asegurar el cumplimiento de normas que exigen ciertas características fundamentales de calidad sobre los diferentes tipos de producto, cuando las características afectan la satisfacción del consumidor.

En Colombia con el fin de preservar los derechos del consumidor y la sana competencia, la Superintendencia de Industria y Comercio bajo sus facultades legales expide la resolución N° 16379 de 2013, donde hace referencia explícita al decreto 2269 de 2003 artículo 35 estableciendo que: “el contenido neto de todo producto empacado o envasado debe corresponder al contenido enunciado en su rotulado o empaque”. (Superintendencia de Industria y Comercio, 2003). Para el caso de la empresa en estudio, es vital asegurar el cumplimiento de esta norma, con el fin de prevenir sanciones derivadas de la variabilidad del proceso de llenado, que deban ser controladas.

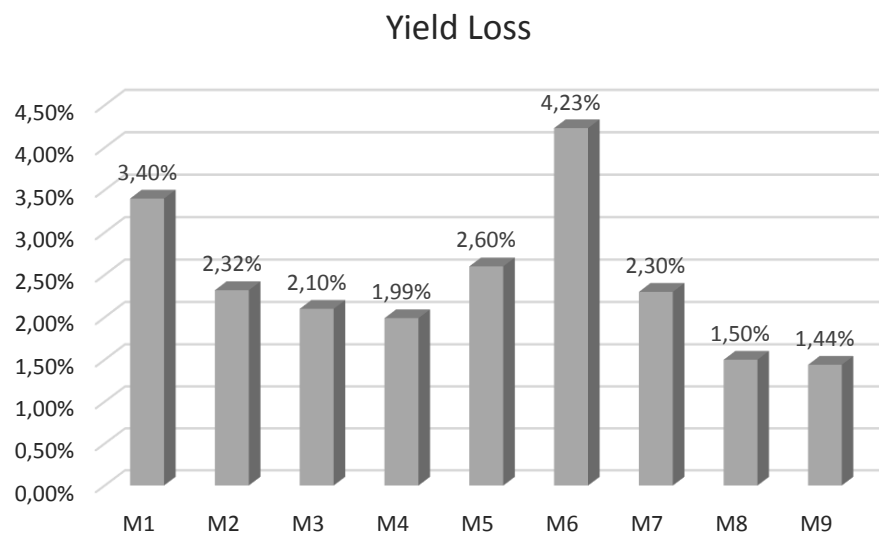
Para la empresa es importante conocer la capacidad de dosificación de cada uno de sus equipos, en relación con cada uno de sus subsistemas para establecer el nivel de cumplimiento de los límites de control y pronosticar el gasto de sobre llenado por cada una de sus referencias, situación que facilitará el control específico del proceso. Adicional a esto, también es necesario conocer cómo se comportan las máquinas dosificadoras actualmente, a fin de poder evaluar si es necesario generar inversiones planificadas de mejora o migración tecnológica. La necesidad de modernización está sujeta al indicador de resultados, cuando los resultados no son satisfactorios se deduce que algo está mal y la identificación de esto es urgente para generar claridad.

Empacar producto por debajo del mínimo legal declarado involucrara un riesgo a una medida sancionatoria por parte de la Superintendencia de Industria y Comercio que puede ser económica o de prohibición de venta del producto en el mercado, cualquiera de las dos medidas es de alto

impacto llegando a desestabilizar el factor económico de cualquier empresa que se vea afectada por alguna de estas medidas. Por otro lado, el miedo de infringir la ley conlleva a contar con tecnología de punta que garantice las óptimas condiciones de los productos, pero esto no es tan sencillo dado a la variación natural de los procesos productivos, las condiciones cambian como son los estados físicos de los productos, las personas que operan los equipos y el desgaste natural de la maquinaria generando así otro caso particular al otro lado de lo legal “llenar por encima de los parámetros” Si el producto ofrecido al consumidor es de 100gr y la máquina llena 103 por la naturaleza o variabilidad del proceso, ahora esto se ha convertido en un problema económico, 3% del producto acaba de ser obsequiado sin remuneración alguna. Esto simboliza costos adicionales a los procesos, reducción de los porcentajes de utilidad y en el mundo actual se debe vigilar cada centavo para que la empresa se mantenga competitiva.

Abordando la necesidad actual de la compañía de entender sus procesos y considerando los índices de capacidad se define la estrategia para el tema. La empresa cuenta con KPIs para el control de sus procesos todos ellos manejados como indicadores gerenciales que ponen de manifiesto que algo está funcionando mal pero no describen la necesidad y el detalle del por qué, en la siguiente figura se muestra el indicador “Yield loss”, que para el caso de la empresa determina las pérdidas de rendimiento, en pocas palabras cuanto se dejó de producir por pérdida de producto por el ciclo de tiempo de un mes.

Figura 1
Indicador de pérdidas "Yield Loss"



Indicador de pérdidas de rendimiento, resultados de planta de producción. Elaboración propia.

De acuerdo a la figura 1, se aprecia cuáles son las máquinas más afectadas por el rendimiento del producto, se expresa la necesidad urgente de comprender e ir al detalle de lo descrito, específicamente en la máquina M6 la cual presenta el mayor porcentaje de pérdida de rendimiento. Dado esto se define la pregunta de investigación de la siguiente manera.

¿Cuál es la capacidad real de la máquina "M6" de cumplir los parámetros asignados y cuál es el riesgo de incumplir con los parámetros ofrecidos al consumidor?

Objetivo General

Estimar el índice de capacidad del sistema de dosificación de la máquina de llenado M6, evidenciando el producto fuera de especificación inferior y sobrellenado.

Objetivos Específicos

Aplicar un diseño muestral a la población de datos “Registros de dosificado” de la maquina M6 para obtener una muestra representativa.

Generar los índices Cp (El índice de capacidad potencial del proceso), Cpk (índice de capacidad real del proceso) y K (índice de centrado del proceso) por boquilla para la maquina M6.

Identificar las boquillas con mayor probabilidad de generar algún número de productos por debajo de la especificación y/o con niveles de pérdida por sobrellenado.

Marco Conceptual.

En este capítulo del desarrollo del proyecto se entenderán los conceptos claves para el debido desarrollo de la metodología, esto tendrá como finalidad afianzar al lector con las definiciones técnicas que se usaran en el desarrollo de los temas propuestos.

Calidad

Según el modelo de la norma ISO 9000, la calidad es el “grado en el que un conjunto de características inherentes a un producto (bien o servicio) cumple con los requisitos establecidos por el cliente”, entendiéndose por requisito “necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria”.

Para la investigación que se lleva a cabo en el proyecto, la calidad se abordara desde el punto de vista de la capacidad y el riesgo de dosificar la cantidad ofrecida al cliente en un envase.

Para determinar la capacidad que tiene un equipo de dosificado llenar botellas, se utiliza el cálculo de los siguientes indicadores. (C_p) Capacidad potencial de proceso este señala que tan dispersos se encuentran los datos, (C_{pk}) Capacidad real del proceso este otorga la relación de centrado del proceso y (k) que es el índice del centrado del proceso.

Los cálculos involucrados en el desarrollo del proyecto se ejecutan en el software de código abierto R, usando paquetes definidos para el cálculo de capacidad de procesos. Propios de paquetes estadísticos de gestión de calidad. Para profundizar en los temas tratados se consideran los siguientes conceptos usados dentro del desarrollo del texto y que permiten entender de mejor manera el tema tratado.

Sistema de dosificado

El sistema de dosificación en términos generales, es la unidad que permite añadir un producto a un contenedor en cantidades y secuencias temporales exactas. A través de los diferentes sistemas de dosificación los productos sólidos o líquidos son tratados durante todo el proceso de fabricación.

Cada industria tiene necesidades específicas dependiendo del material que utilice y necesite dosificar, a groso modo se diferencian los sistemas de dosificación de líquidos y los sistemas de dosificación de sólidos. El funcionamiento de estos sistemas es distinto pero el objetivo es el mismo: pesar o medir las cantidades para poder optimizar la producción y la calidad del producto.

Para el caso de estudio, sistemas de dosificado de líquidos de modo volumétrico el cual no mide la masa, sino que funcionan basados en el volumen por lo que se tendrán que calibrar antes de cada uso. Además, estos dosificadores no son capaces de compensar de forma automática los cambios en la densidad de la materia. De acuerdo a las características del sistema de dosificado surgen efectos contrarios a su correcto funcionamiento como el deterioro de cualquiera de sus partes o los ajustes indebidos que generan variación entre ciclo y ciclo de dosificado generando en esta etapa riesgo de productos fuera de especificación y sobre costo en productos con llenado superior a lo ofrecido al consumidor.

La modernización de dichos sistemas ha otorgado grandes ventajas a la industria en empaque dado que otorgan garantía a sus clientes de obtener justo la cantidad ofrecida bajo la declaración de la etiqueta del producto, siempre y cuando el proceso no presente alta variabilidad.

La figura 2 muestra un sistema de dosificado múltiple similar al analizado en este proyecto donde se visualizan unos tubos inyectoros llamados “Boquillas” con los cuales se dosifican unos recipientes con diferentes productos. A estas boquillas se les calculara las capacidades de proceso.

Figura 2
Sistema de dosificación Múltiple



Sistema de dosificación múltiple: (Tomado de: <http://www.cosmobot.pt/modo-de-dosificacion-con-introduccion-de-la-boquilla-50-mm.php>) (Cosmobot, 2019)

Dado el concepto anterior y entendiendo que las variabilidades de los sistemas generan la probabilidad de estar fuera de los límites especificados se define lo siguiente.

Producto fuera de especificación.

Para el caso de estudio se entiende por producto fuera de las especificaciones, cuando este no cumple con la cantidad anunciada en la etiqueta del producto, es un error en el dosificado.

Dosificar genera dos circunstancias asociados a la varianza de cada ciclo de inyección de la máquina. La primera corresponde a llenar por encima del rango objetivo, donde el sobrecosto de enviar más producto del que se ofrece en la declaración legal genera costos de producción no retornables a la fábrica, la consideración de esto se calcula por gramos sobrelenos después de lo declarado; la segunda consideración corresponde a un riesgo, la cual se asocia a llenar con menos producto del ofrecido al consumidor, el cual de manera transversal generaría una posible sanción legal a la empresa que permita que estos productos se encuentren disponibles en el mercado según las normativas vigentes. Para efectos del cálculo del riesgo legal se considera el número de unidades que se encuentre por debajo del límite inferior de especificación en cantidad como la probabilidad que dicho hecho suceda. Siendo riesgo la probabilidad latente de que ocurra un hecho

que produzca ciertos efectos, tiene en cuenta la combinación de la probabilidad de la ocurrencia de un evento y la magnitud del impacto que puede causar. Para el caso de estudio se entiende por riesgo, que un producto se encuentre fuera de la especificación inferior de llenado.

Normatividad para preempacados

En Colombia con el fin de generar protección al consumidor sobre los productos que se comercializan, la Superintendencia de Industria y comercio expide la Resolución N° 16379 de 2003 por medio de la cual reglamenta el control metrológico del contenido de producto en preempacados. Donde:

Según lo establecido en el artículo 35 del Decreto 2269 de 1993, el contenido neto de todo producto empacado o envasado debe corresponder al contenido enunciado en su rotulado o empaque. Las tolerancias para masa y volumen netos de los productos preempacados, deberán cumplir con los requisitos establecidos en los reglamentos técnicos o las normas técnicas colombianas obligatorias correspondientes. La selección de muestras para la verificación del contenido neto se efectuará siguiendo los procedimientos estadísticos establecidos en reglamentos técnicos o normas técnicas obligatorias.

Que conforme con lo señalado en el Decreto 3464 de 1980, es obligatorio el uso del Sistema Internacional de Unidades en el territorio colombiano. (Superintendencia de Industria y Comercio, 2003)

Teniendo en cuenta que el control metrológico del contenido de un preempacados, es un requisito exigido por la Superintendencia de Industria y Comercio, con el fin de reglamentar las responsabilidades del fabricante de productos preempacados, el estudio comprende el análisis del riesgo de empaquetar productos fuera de especificación. Y como factor de interés para la empresa

estudiada, se comprende la teoría de capacidad de procesos donde se indican las maneras adecuadas de evaluar si un proceso de llenado cumple con las especificaciones establecidas por la empresa.

Capacidad de Proceso

Las técnicas estadísticas pueden ser útiles durante todo el ciclo del producto, incluidas las actividades de desarrollo antes de la fabricación, al ayudar al desarrollo y la producción, al cuantificar la variabilidad del proceso, al analizar esta variabilidad en relación con los requisitos o especificaciones del producto, y a eliminar o reducir en gran medida esta variabilidad. Esta actividad general se llama análisis de capacidad de proceso. (Douglas C, 2013)

Los procesos de producción contienen variables de salida o de respuesta, las cuales deben estar dentro de lo establecido con el fin de determinar si el proceso cumple con los estándares de calidad deseados. Cuando el proceso está operando bajo control, se registran datos para obtener información sobre el rendimiento o la capacidad del proceso, es decir, si un proceso controlado es capaz de cumplir con las especificaciones. Para evaluar la capacidad de un proceso se debe conocer la amplitud natural de variación de la variable estudiada, lo cual permite entender si el valor de la característica se ajusta a los rangos de control establecidos. Para conocer si el resultado de la variable estudiada es satisfactorio se recurre al cálculo de los índices que se definen a continuación.

Índice Cp.: El índice de capacidad potencial del proceso, Cp., se define de la siguiente manera:

$$CP = \frac{LES - LEI}{6\sigma}$$

donde LES y LEI representan el límite superior de especificación y el límite inferior de especificación, respectivamente, y σ se refiere a la desviación estándar del proceso. $100 (1 / Cp)$ se interpreta como el porcentaje del ancho de especificaciones utilizado por el proceso. El índice C_p compara el ancho de las especificaciones:

$$CP = \frac{\text{Variación Tolerada}}{\text{Variación Real}}$$

Para que el proceso sea considerado potencialmente capaz de cumplir con especificaciones, se requiere que la variación real (natural) siempre sea menor que la variación tolerada. De aquí que lo deseable es que el índice Cp. sea mayor que 1; y si el valor del índice Cp es menor que uno, es una evidencia de que el proceso no cumple con las especificaciones.

A veces, se da la especificación de un proceso de un lado; es decir, se da el límite superior de especificación (LES) o el límite inferior de especificación (LEI), pero no se dan ambos. Luego, hablamos de dos relaciones de capacidad de proceso Cpu y Cpl. El primero se calcula cuando se conoce el límite superior de especificación, y el último se calcula cuando se da el límite inferior de especificación. Entonces Cpu es el índice de capacidad para la especificación superior y Cpl es el índice de capacidad para la especificación inferior.

$$C_{pu} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma}; \quad C_{pl} = \frac{\mu - LEI}{3\sigma}$$

En la tabla número 1 se considera la manera de evaluar el resultado del indicador Cp, donde para la empresa será satisfactorio obtener un valor cercano a 1,33.

Tabla 1
Valores del Cp y su interpretación

Valor del índice Cp	Clase o categoría del proceso	Decisión (si el proceso está centrado)
$Cp \geq 2$	Clase mundial	Se tiene calidad Seis Sigma.
$Cp > 1.33$	1	Adecuado.
$1 < Cp < 1.33$	2	Parcialmente adecuado. Requiere de un control estricto.
$0.67 < Cp < 1$	3	No adecuado para el trabajo. Es necesario un análisis del proceso. Requiere de modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria.

$C_p < 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones muy serias.
--------------	---	---

Valores del C_p y su interpretación : En esta tabla se especifican los valores objetivos del indicador CP, extraída de (Gutierrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013).

Todos los procesos no siempre están necesariamente centrados en la dimensión nominal. Es decir, los procesos también pueden ejecutarse fuera del centro, por lo que la capacidad real de los procesos no centrados será menor que la indicada por C_p . En el caso de que el proceso se esté ejecutando fuera de centro, la capacidad de un proceso se mide mediante otra relación llamada C_{pk} que mide la capacidad real y C_p mide la capacidad potencial. Esto se define a continuación

Índice C_{pk} : se conoce como índice de capacidad real del proceso, es considerado una versión corregida del C_p que sí toma en cuenta el centrado del proceso. Existen varias formas equivalentes para calcularlo, una de las más comunes es la siguiente:

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}); \quad C_{pk} = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LEI}{3\sigma}\right)$$

El índice C_{pk} siempre va a ser menor o igual que el índice C_p . Cuando son muy próximos, eso indica que la media del proceso está muy cerca del punto medio de las especificaciones, por lo que la capacidad potencial y real son similares.

Si el valor del índice C_{pk} es mucho más pequeño que el C_p , significa que la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones. De esa manera, el índice C_{pk} estará indicando la capacidad real del proceso, y si se corrige el problema de descentrado se alcanzará la capacidad potencial indicada por el índice C_p .

Cuando el valor del índice C_{pk} sea mayor a 1.25 en un proceso ya existente, se considerará que se tiene un proceso con capacidad satisfactoria. Mientras que para procesos nuevos se pide que

$C_{pk} > 1.45$. Es posible tener valores del índice C_{pk} iguales a cero o negativos los indican que la media del proceso está fuera de las especificaciones.

Índice k : Índice del centrado del proceso. Mide la diferencia entre la media del proceso, μ , y el valor objetivo o nominal, N (*target*), para la correspondiente característica de calidad; y compara esta diferencia con la mitad de la amplitud de las especificaciones. Multiplicar por 100 ayuda a tener una medida porcentual. La interpretación usual de los valores de K es como sigue:

$$K = \frac{\mu - N}{\frac{1}{2}(ES - EI)} \times 100$$

Si el signo del valor de K es positivo significa que la media del proceso es mayor al valor nominal y será negativo cuando $\mu < N$. Valores de K menores a 20% o (0.2) en términos absolutos se consideran aceptables, pero a medida que el valor absoluto de K sea más grande que 20% o (0.2), indica un proceso muy descentrado, lo cual contribuye de manera significativa a que la capacidad del proceso para cumplir especificaciones sea baja.

El valor nominal, N , es la calidad objetivo y óptima; cualquier desviación con respecto a este valor lleva un detrimento en la calidad. Por ello, cuando un proceso esté descentrado de manera significativa se deben hacer esfuerzos serios para centrarlo, lo que por regular es más fácil que disminuir la variabilidad. (Gutierrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013)

Características de los datos

Para el estudio de los datos en este proyecto es necesario que cumplan con determinadas características como pertenecer a una distribución normal. Si la muestra es normal esto indicara que proviene de una población normal. Cuando se puede comprobar que los datos obtenidos cumplen con las pruebas de normalidad se podrá observar que los índices de capacidad son

apropiados y se podrá confiar en sus resultados, si por lo contrario las pruebas de normalidad no son satisfactorias los cálculos de los índices de capacidad estarán sesgados a condiciones atípicas de los datos, como registros erróneos o mal digitación al transcribir las mediciones o peor aún que ni siquiera el mismo proceso cumple con las características mínimas para cálculo de sus indicadores.

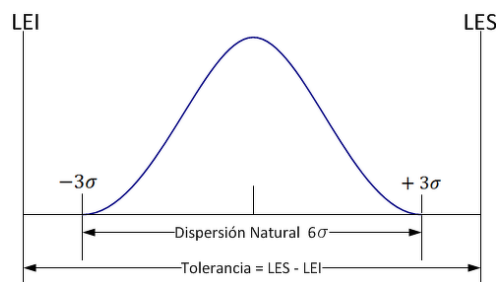
Distribución Normal: La distribución normal es probablemente la distribución más importante tanto en la teoría como en la aplicación de estadísticas. Si x es una variable aleatoria normal, entonces la distribución de probabilidad de x se define de la siguiente manera:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad -\infty < x < \infty$$

La media de la distribución normal es μ ($-\infty < \mu < \infty$) y la varianza es $\sigma^2 > 0$.

Al graficar la función $f(x)$ se obtiene una gráfica simétrica y unimodal, cuya forma es similar a una campana (ver figura 3). El centro de ésta coincide con μ , y la amplitud está determinada por σ . (Gutierrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013)

Figura 3
Distribución Normal



Distribución Normal: Se considerará para los cálculos en adelante distribución normal de los datos y la dispersión natural del proceso como 6 Sigma. Tomado de: (Ingeniería Industrial, 2019)

Verificación de normalidad: Un supuesto, en muchos procedimientos es que ciertos datos proceden de una distribución normal. Existen muchas pruebas para verificar la normalidad, entre las que se encuentran las siguientes: Ji-cuadrada para bondad de ajuste, Kolmogorov, Shapiro-Wilks y Anderson-Darling. (Gutierrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013).

Para el desarrollo del estudio se considera la prueba de normalidad teórica de Kolmogorov-Smirnov con la modificación propuesta por Lilliefors conocida como test de Lilliefors, estipulada para media y la desviación estándar de la población son desconocidas, dado a la naturaleza de los datos y la configuración de la muestra.

Población y Muestra

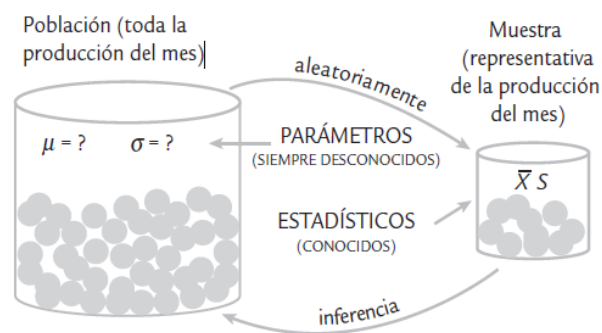
En control de calidad la población. Es un acumulado de medidas o el registro de todos los elementos que indican un rasgo en común. El elemento o unidad puede ser una persona, familia, empresa, zona, animal u objeto. Del elemento se estudia sus características. Estas se clasifican en cualitativas o atributos, expresadas por palabras y se cuantifican mediante el conteo o recuento; las cuantitativas o variables expresadas en forma numérica, que pueden ser medidas (v. continua) o contadas (v. discreta), la población puede definirse como un conjunto de medidas, o el recuento de todas las unidades que presentan una característica común. Se podría definir como un conjunto de mediciones finito o infinito, real o conceptual. (Ciro Martínez Bencardino, 2012)

Muestra se define como un conjunto de medidas o el recuento de una parte de los elementos pertenecientes a la población. Para que una muestra sea representativa de la población, se requiere que las unidades sean seleccionadas al azar, es decir todos los elementos que componen la población tienen la misma posibilidad de ser seleccionados. (Ciro Martínez Bencardino, 2012)

Un aspecto importante será lograr que las muestras sean representativas, en el sentido de que reflejen las características clave de la población en relación con los objetivos del estudio. Una forma de lograr esa representatividad consiste en diseñar de manera adecuada un muestreo aleatorio (azar). Existen varios métodos de muestreo aleatorio, por ejemplo, el simple, el estratificado, el muestreo sistemático y por conglomerados; cada uno de ellos logra muestras representativas en función de los objetivos del estudio y de ciertas circunstancias, así como características particulares de la población. (Gutierrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013).

En la figura 4 se aprecia la relación entre la población y la muestra donde se puede observar que una muestra podrá tener estimadores acertados respecto a la población, siendo conveniente utilizar muestras para mejor manejo y reducción de recursos para obtención de datos.

Figura 4
Relación entre población y muestra



Relación entre población y muestra, parámetros y estadísticos. (Gutierrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013)

Siguiendo el ejemplo de figura 4 y los conceptos propios de población y muestra será fundamental abordar el método propio de muestreo para el proyecto en desarrollo.

Software estadístico R.

R es un lenguaje y entorno de programación para análisis estadístico y gráfico. Se trata de un proyecto de software libre, resultado de la implementación GNU del clásico lenguaje científico

S-Plus. R y S-Plus son, probablemente, los dos lenguajes más utilizados en investigación por la comunidad estadística, la bioinformática y las matemáticas financieras. A esto contribuye la posibilidad de cargar diferentes bibliotecas o paquetes con finalidades específicas de cálculo o gráfico. R se distribuye bajo la licencia GNU GPL y está disponible para los sistemas operativos Windows, Macintosh, Unix y GNU/Linux. (Felicidad Marqués Asensio, 2017)

El paquete usado en el desarrollo de este proyecto esta denominado como “qcc”, entre sus funciones principales están, la generación de gráficos de control de calidad, tablas de control de calidad de Shewhart para datos continuos, cartas Cusum y EWMA, curvas características de funcionamiento, análisis de la capacidad del proceso, paretos y cuadros de control multivariado.

Metodología

Descripción de la data

La base de datos utilizada en el proyecto proviene de una empresa del área dedicada al empaque de productos. Para el ejercicio se utiliza la base de datos de control de llenado para el área de llenado de frascos, que en adelante se distinguirá como “Data llenado”.

“Data llenado” está compuesta por 24 variables por 156000 registros originalmente para el caso de estudio se utilizará las variables necesarias para la interpretación y cálculo de capacidad de proceso. De la misma manera y dado que en la data llenado los registros son tomados para varias máquinas los esfuerzos de la investigación se centrarán en una sola máquina dosificadora de interés para el proyecto

En la tabla 2 se expone el encabezado de data para brindar una mayor comprensión de las variables de estudio.

Tabla 2
Encabezado Data Llenado

CodMaquina	CodigoProducto	Boquilla	Rango	Diferencia de Dosificado
M6	P16	1	4	5,8
M6	P16	2	4	1,9
M6	P16	3	4	3,7
M6	P16	4	4	5,6
M6	P16	5	4	7,3
M6	P16	6	4	5,7

“Data llenado”: encabezado de la data con el fin de reconocer cuales son las variables de interés que conforman la base de datos para el estudio de capacidad. Elaboración propia.

A continuación, se describe cada una de las variables de interés en ese estudio de capacidad de proceso en primer caso se identifica la variable CodMaquina la cual identifica a que máquina corresponden los datos, en este caso el nombre original fue codificado por temas de seguridad corporativa por lo cual M6 solo hace alusión a máquina seis.

La segunda variable corresponde CodProducto esta variable hace referencia al tipo de producto que se envaso donde “P” es producto acompañado de un numero consecutivo para distinguir que se tratan de productos diferentes.

La Tercera variable “Boquilla” la máquina envasadora está compuesta por 8 inyectores denominados boquillas de dosificado, cada una de estas independiente a las demás, aunque actúan en forma simultanea sus ajustes, mantenimiento y desempeño no contienen relación.

La cuarta variable. Rango, esta variable hace referencia al total de la variación que esperaría tener la empresa respecto a los productos envasados en ese equipo, es el límite superior de llenado, el cambio de este rango depende del total que la empresa podría asumir en pérdidas antes de afectar sus finanzas.

La quinta variable. Diferencia de dosificado. Hace referencia a un campo calculado que muestra cuando es un valor positivo la cantidad que sobrelleno el sistema y para los datos que se encuentren como valores negativos, indicara que el llenado fue insuficiente dando como resultado una unidad no conforme que salió de la línea de producción, todos los valores positivos mayores corresponderán a valores de sobrellenado “perdida de producto”.

Una vez entendida cada una de las variables se da cuenta de la data, corresponde a una base de datos de 24000 registro por 6 variables para M6.

Diseño Muestral.

El diseño muestral es propio de cada caso de estudio, de la naturaleza propia de cada caso de estudio, para el proyecto en curso se aborda el desarrollo de un muestreo aleatorio simple con un valor de significancia igual a 0.05.

Muestreo Aleatorio Simple

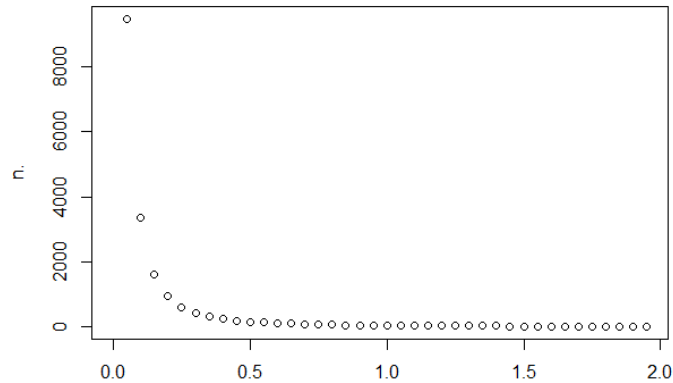
Es importante entender el por qué de un muestreo, en primer lugar, se desea que los índices calculados en este proyecto puedan ser verificados en el futuro, a medida que se generen cambios en los equipos de llenado es importante realizar sus respectivas mediciones para entender si existe variación a través del tiempo, para este caso específico si existe una mejora sistemática del proceso. Para realizar un seguimiento oportuno es necesario poder calcular los estadísticos desde una muestra significativa que pueda hacer inferencia sobre la población esto considerando que la toma de los datos genera costos sobre el proceso productivo.

El muestreo aleatorio simple es el tipo de muestra escogido para el estudio, caracterizado porque cada elemento cuenta con las mismas probabilidades de ser escogido y no es necesario tener ordenada la muestra, para efectos prácticos es conveniente; este es un tipo de muestreo equiprobable y autoponderado. Beneficia a la empresa reduciendo costos para el de tareas implícitas en la toma de muestras de estudio, prioriza sobre los tiempos destinados a los estudios y garantiza un nivel razonable de confianza sobre los estadísticos. (Morillas, No específico).

Cálculo del tamaño de Muestra: El tamaño de la muestra corresponde al nivel de confianza que se desea dar a los estimadores calculados, a medida que crece el tamaño de la muestra más confiables serán los estimadores calculados en esta.

La figura 5 muestra el comportamiento del valor de error de los resultados con relación al tamaño de la muestra, el cual disminuye de manera exponencial a medida que el tamaño de la muestra es mas grande. Indicando un menor error estadístico.

Figura 5
Relación tamaño de muestra y error



Relación entre el tamaño de la muestra y error, a medida que crece el tamaño de la muestra, mayor será el grado de confianza sobre los estimadores calculados.

La interpretación de la figura 6 se puede hacer de mejor forma observando la tabla 3 donde se expresan los valores de error por cada uno de los tamaños de muestra, para el caso de estudio se elegirá un margen de error de 0.05 por lo cual se entenderá que la muestra es de 268 unidades muestrales generando así una muestra óptima para los cálculos de capacidad del equipo.

Tabla 3
Margen de error según el tamaño de la muestra

	MargenError	n
[1,]	0.00	
[2,]	0.01	5276.77936
[3,]	0.02	1579.67066
[4,]	0.03	728.72150
[5,]	0.04	415.42410
[6,]	0.05	267.53848
[7,]	0.06	186.42558
[8,]	0.07	137.24857
[9,]	0.08	105.22196
[10,]	0.09	83.21491
[11,]	0.10	67.44851

Identificada la cantidad de mediciones se procede a definir la toma de muestras para cada uno de los subcomponentes del equipo estudiado “las boquillas”. En la tabla 4 se observa el tamaño de la población para cada uno de los subsistemas que hacen parte del estudio realizado.

Tabla 4
Relación poblacional de cada boquilla

Boquilla	Mediciones
1	3360
2	3360
3	2928
4	2880
5	2880
6	2880
7	2832
8	2880

Impacto por cada uno de los estratos definidos en la data llenado. Elaboración Propia.

Conocido el tamaño de la población involucrado en el estudio, se realiza el muestreo aleatorio simple para la base por cada una de sus boquillas con ayuda de software libre R.

Descripción de la Muestra

El total de la muestra es igual a 268 mediciones para cada una de las boquillas, se describen en forma general en la tabla 5. En esta descripción se realizan las primeras inferencias estadísticas sobre los resultados de las muestras tomadas.

Tabla 5
Descripción Cuantitativa de la data

Boquilla	Numero de muestras	Promedio	Desviación estándar	Varianza
1	268	2,68	1,64	2,71
2	268	2,78	1,37	1,88
3	268	3,18	1,99	3,97
4	268	2,48	1,47	2,17
5	268	3,25	1,71	2,95
6	268	4,02	1,71	2,93

7	268	3,51	1,98	3,92
8	268	3,92	2,18	4,76

Descripción cuantitativa de la data, pretende mostrar el efecto numérico de cada una de los resultados. Elaboración Propia

En la tabla 5 se evidencia la toma muestral por cada una de las boquillas y se reflejan los estadísticos principales para comenzar a entender que esperaríamos de los resultados a calcular.

La teoría de cálculos de capacidad está basada en el teorema del límite central donde se hace referencia a la distribución normal de los datos que se desean analizar.

Prueba de Normalidad

Una muestra lo suficiente grande tiende a seguir la distribución original de la población, para el ejercicio de cálculo de capacidades los resultados serán más certeros si la distribución tiende a la normalidad. Para esto y con el fin de calcular los índices de capacidad sobre la muestra se adelantarán las pruebas de normalidad numéricamente y de manera gráfica. Un caso específico de ajuste a una distribución teórica es la correspondiente a la distribución normal. Este contraste se realiza para contrastar la hipótesis de normalidad necesaria para que los resultados de los estadísticos deseados sean fiables.

Para muestras grandes es posible contrastar la normalidad con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. A pesar de que continuamente se alude al test Kolmogorov-Smirnov como un test válido para contrastar la normalidad, esto no es del todo cierto. El Kolmogorov-Smirnov asume que se conoce la media y varianza poblacional, lo que en la mayoría de los casos no es posible. Esto hace que el test sea conservador y poco potente. Para solventar este problema, se desarrolló una modificación del Kolmogorov-Smirnov conocida como test Lilliefors. El test Lilliefors asume que la media y varianza son desconocidas, estando especialmente desarrollado para contrastar la normalidad. Es la alternativa al test de Shapiro-Wilk cuando el número de observaciones es mayor

de 50. Para la del test Lilliefors se utiliza los cálculos la ayuda de software libre R y el paquete nortest. (cran.r-project, 2019)

Se rechazará la hipótesis nula de normalidad si el p-value es menor que el valor crítico proporcionado por la tabla elaborada por los autores para el tamaño muestral y el nivel de significación dado.

En la tabla 6 los resultados numéricos de la prueba de normalidad “Lilliefors”

Tabla 6
Contraste de hipótesis de normalidad

Boquilla	p-value	Resultado
1	0.9182526	D.Normal
2	0.6539196	D.Normal
3	0.5209268	D.Normal
4	0.364831	D.Normal
5	0.7629144	D.Normal
6	0.6986271	D.Normal
7	0.6753847	D.Normal
8	0.123551	D.Normal

Contraste de hipótesis de normalidad. Elaboración propia

Para la comprensión de los resultados dados en la tabla 6 se plantea la hipótesis sobre los resultados de la siguiente manera.

La hipótesis para la prueba de normalidad

H_0 : La muestra proviene de una distribución normal.

H_1 : La muestra no proviene de una distribución normal.

Nivel de Significancia

El nivel de significancia que se trabajará es de 0.05. Alfa=0.05

Criterio de Decisión

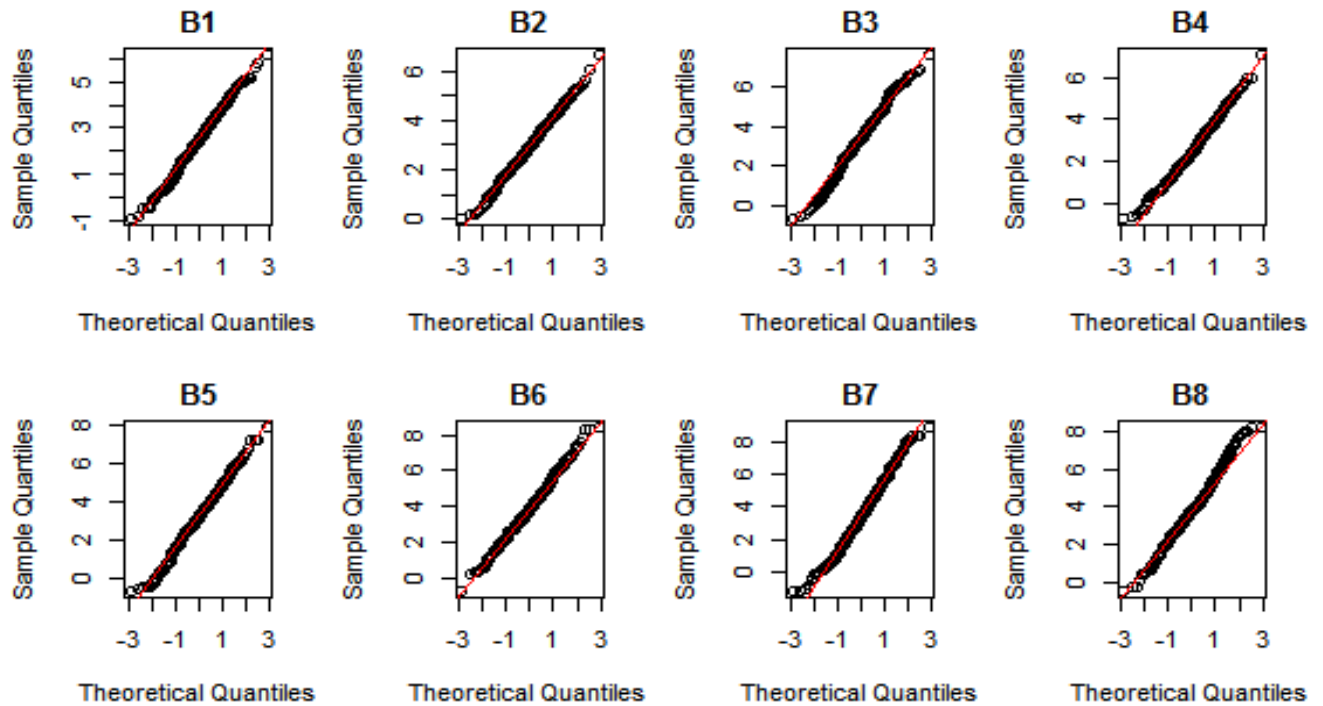
Si $p < 0.05$ Se rechaza H_0

Si $p \geq 0.05$ No se rechaza H_0

Considerando los resultados de la prueba hipótesis aplicada a las muestras de cada una de las boquillas, se considerará que todas las muestras cumplen con los parámetros de normalidad.

En la figura 7 y como complemento a la prueba de normalidad se muestra de manera gráfica la normalidad de las muestras esto con fines de hacer una comprensión clara a lo que propone el test de Lilliefors en el desarrollo de la prueba de la normalidad.

Figura 6
Prueba de normalidad gráficamente



Pruebas gráficas de Normalidad. Elaboración propia.

Análisis de resultados de los datos

Los análisis de los resultados corresponden a la interpretación de los resultados de aplicar la teoría del cálculo de capacidad y riesgo para los datos de las muestrales.

Índices de Capacidad y Categorización

Los índices de capacidad de la máquina pretenden aclarar hasta donde es posible llegar en cuanto a los rangos de dosificado, si se cuenta con una buena máquina para el desarrollo del proceso de envase o si es hora de comenzar a pensar en modernización tecnológica. Los siguientes indicadores corresponderán a la máquina “M6” y cada una de sus boquillas de dosificado. Todos estos índices se expresarán de manera gráfica y textual para dar la máxima comprensión de los mismos.

Para el análisis de resultados es importante entender la distribución de los datos en cada una de las figuras para esto, en la parte de izquierda de la figura se encuentra un histograma con la respectiva curva de densidad, será para la evaluación la curva aparente de normalidad de los datos, dentro de esta se encontrara el valor LSL correspondiente a cero este punto diferenciará a un producto con deficiencia de llenado a su izquierda y un producto con sobre llenado a la derecha. El target define el valor teórico promedio de la especificación el esperado por la fábrica para el cálculo de sus pérdidas, USL valor superior de especificación este comprende el valor máximo esperado después de haber llenado cada producto y corresponde a un valor teórico.

Ahora se definirán los valores bajo los indicadores de capacidad, (Cp) valor de la capacidad de la maquina el cual se contrastará con los valores de la tabla de capacidad, (Cp-I) valor de capacidad entre el target y el LSL, (Cp_U) valor de contraste de capacidad entre el target y el USL, (Cpk) valor de capacidad del proceso hacia el lado más crítico.

Valores de Riesgo real del proceso estos valores otorgaran la probabilidad de que los eventos ocurran fuera de los límites de especificación. ($Exp < LSL$) Valores esperados por debajo del límite inferior “riesgo de incumplir legalmente”, ($Exp > USL$) valores esperados sobre el límite es especificación superior los cuales corresponderán a pérdidas no esperadas por la compañía. ($Obs < LSL$) corresponde al número de observaciones reales que están bajo el límite inferior provenientes de la muestra; ($Obs > USL$) observaciones reales que están por encima del límite superior de especificación procedentes de la muestra.

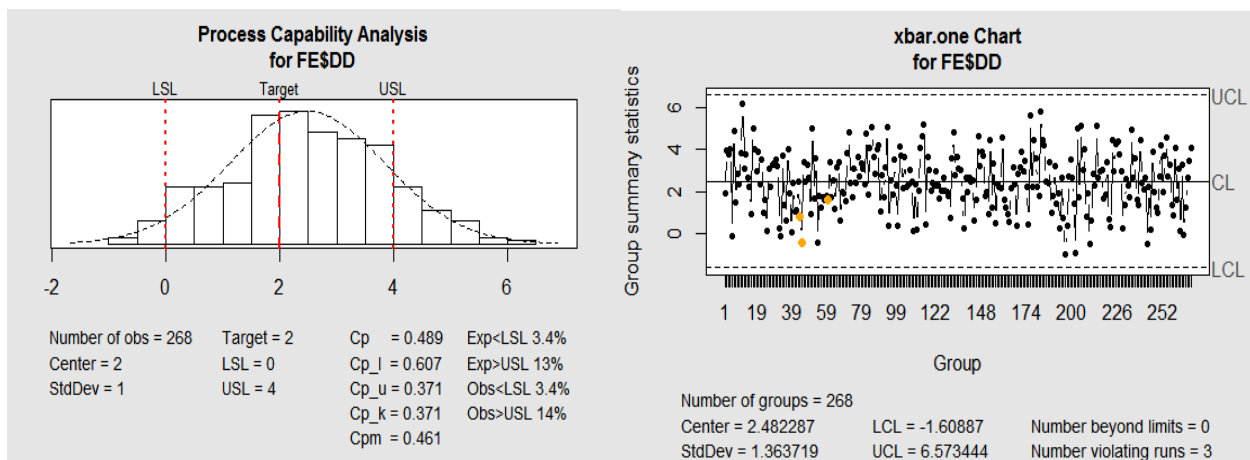
Con el estadístico obtenido del análisis de capacidad se construyen los índices “las tablas de simulación”, son simulaciones teóricas de lo ocurrido por cada 1000 unidades llenas por el sistema. Es importante entender que el riesgo de tener unidades bajo el parámetro de especificación se entenderá como el número total de unidades defectuosas que simbolizan el riesgo de estar en el mercado con dicha desviación; mientras que el riesgo de tener unidades sobrellenadas, realmente comprende cuantos gramos se están perdiendo por encima de lo ofrecido al cliente en primer lugar.

Para dar fuerza a la interpretación y análisis de la capacidad del proceso, en forma gráfica se muestra el comportamiento de la variabilidad del ciclo de dosificado del equipo y las bandas de confianza supuestas para el proceso, es claro adicionar que el proceso no puede encontrarse por debajo del límite inferior cero ya que esto sería reconocer la posibilidad de la ampliación del rango sin considerar los aspectos legales del caso; entonces para el análisis de la gráfica de comportamiento del proceso será necesario observar el límite superior y para un caso más estricto sumar el valor absoluto de la diferencia entre el límite inferior y el cero, así obtener el rango total de amplitud y comportamiento del equipo que se esperarí el cual servirá para evidenciar el estado de las tolerancias actuales y naturales del proceso.

Las violaciones que aparecen en la gráfica de control del proceso corresponde a los puntos que incumplen con alguna de las 10 reglas de Shewhart como siguen: Una o varias de las mediciones están por fuera del límite de control del proceso ; cuando más de dos puntos de manera consecutiva aparecen en el área de riesgo del grafico esta corresponde a más de dos sigma de desviación; cuatro de cinco puntos consecutivos más allá del límites one-sigma; una carrera de ocho puntos consecutivos en un lado del línea central; seis puntos en fila constantemente aumentando o disminuyendo; quince puntos en fila en la zona C (tanto arriba como debajo de la línea central); catorce puntos en una fila alternando arriba y abajo; ocho puntos en fila a ambos lados del centro. línea con ninguno en la zona C; un patrón inusual o no aleatorio en los datos; uno o más puntos cerca de un límite de advertencia o control. Se tendrá en cuenta que son valores que en caso de ser evaluados dentro de un proceso donde las muestras para análisis sean consecutivas, estos puntos deberán ser quitados de la data. La finalidad de este caso será entender los limites naturales del proceso de dosificado. (Douglas C, 2013)

Índice de capacidad Boquilla 1

Figura 7
Capacidad de proceso boquilla 1



Capacidad de proceso boquilla 1, Elaboración propia.

Tabla 7
Simulación de resultados boquilla 1

Resultado	UMB	Concepto
2520	G	Perdidas a partir de lo declarado al cliente
29	Und	Unidades fuera de especificación mínima
640	G	Perdidas después de la especificación máxima
137	Und	Fuera de especificación máxima
24	%	Valor de centramiento del proceso (k)

Simulación para los resultados de 1000 unidades producidas. Elaboración propia.

La evaluación de los Índices de capacidad de la boquilla 1: No son satisfactorios para los resultados esperados dado que ninguno de los índices de capacidad cumple lo deseado. Los Índices de capacidad Cp y Cpk contrastados con los valores de la tabla capacidades muestran un $C_p < 0.67$ y sugieren que el sistema no es adecuado para el trabajo y requieren una intervención seria.

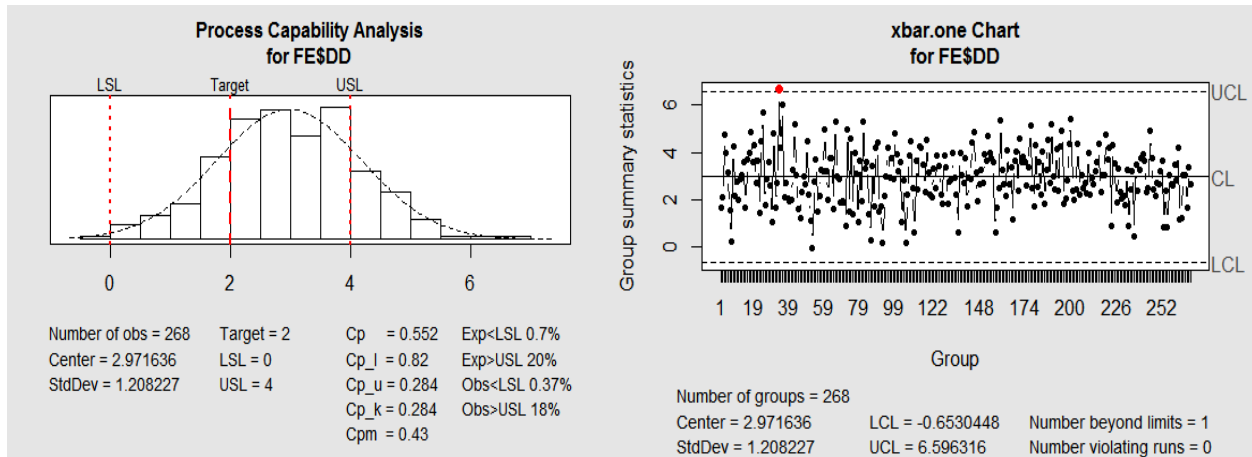
El riesgo de la boquilla número 1 de llenar productos por debajo de la especificación es alto correspondiente al 3,4% lo cual indicaría riesgo de sanciones legales si no se aborda un plan estratégico de mejora.

De acuerdo a la tabla de simulación de resultados, para el cálculo sobre 1000 productos envasados, se consideran dos grandes consideraciones, primero definido como valores de sobre llenado a todo el producto que va de más respecto a lo declarado por la etiqueta del preempacado, lo cual indica que después de cero son gramos otorgados al consumidor sin retribución económica para esto; la boquilla 1 refleja pérdidas totales de 2520 gr por cada mil productos llenos, para esto la compañía considera los rangos de llenado entre 0 y 4 gramos de sobrellenado previendo la variación del proceso pero a pesar de tener este rango existen productos llenos por encima de dicha especificación que generan cantidades no contempladas de pérdidas para este caso 137 productos fueron llenos por encima de la especificación superior generando pérdidas no contempladas por 640 gramos. Por último y de manera directamente correlacionada con los indicadores de capacidad y riesgo el valor del índice k igual a 24% lo que indica que el valor promedio de los datos

observados excede el valor promedio de las especificaciones y mostrando que las especificaciones dadas son bastante cerradas según la evaluación del proceso.

Índice de capacidad Boquilla 2

Figura 8
Capacidad de Proceso boquilla 2



Capacidad de proceso boquilla 2, Elaboración propia.

Tabla 8
Simulación de resultados boquilla 2

Resultado	UMB	Concepto
2980	g	Perdidas a partir de lo declarado al cliente
6	und	Unidades fuera de especificación mínima
968	g	Perdidas después de la especificación máxima
209	und	Fuera de especificación máxima
49	%	Valor de centramiento del proceso (k)

Simulación para los resultados de 1000 unidades producidas. Elaboración propia.

La boquilla 2 para sus valores de capacidad Cp y Cpk se encuentra lejos de cumplir con indicadores satisfactorios, con resultados de 0,552 y 0,284, esta unidad requiere correcciones inmediatas. Para los resultados del cálculo de riesgo se esperaría 0.7% unidades por fuera de especificación, bajo de consideración y prueba de la normalidad de los datos y para las

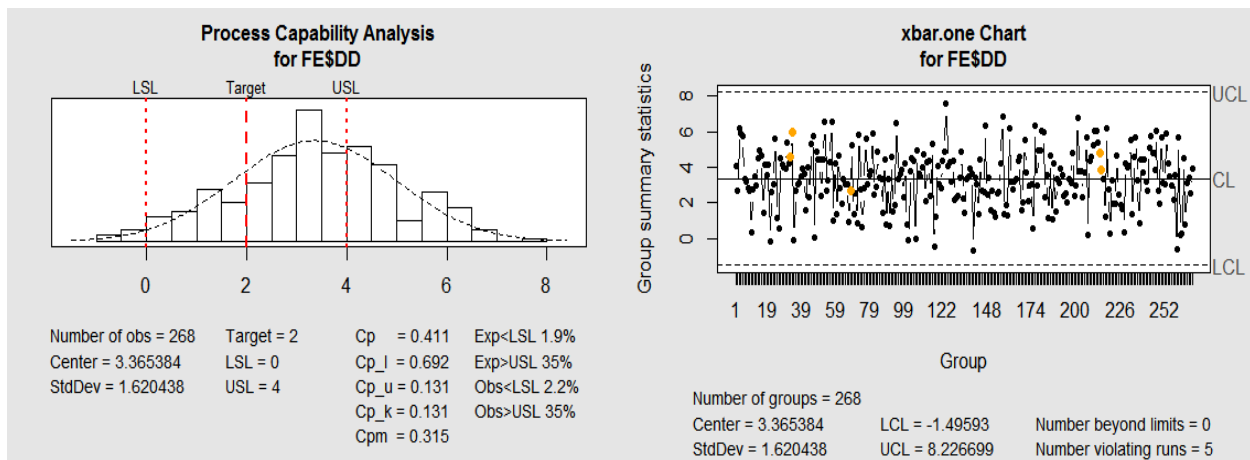
observaciones reales 0,37% productos fuera de especificación lo cual es un índice de unidades fuera de especificación bajo, pero igualmente requerirá atención.

Para los cálculos simulados de pérdidas por cada 1000 unidades producidas se cuenta con 2080 gramos perdidos después del punto cero y 209 unidades que superaran el rango superior, en su total equivaldría a 968 gramos de pérdidas en productos que superan el límite de sobre llenado de 4 gramos.

Por último, el valor calculado k para la boquilla 2 corresponde a 49% indicando que el valor medio de operación del equipo está totalmente alejado de lo esperado con tendencia al límite superior.

Índice de capacidad Boquilla 3

Figura 9
Capacidad de Proceso boquilla 3



Capacidad de proceso boquilla 3, Elaboración propia.

Tabla 9
Simulación de resultados boquilla 3

Resultado	UMB	Concepto
3288	g	Perdidas a partir de lo declarado al cliente
17	und	Unidades fuera de especificación mínima
1653	g	Perdidas después de la especificación máxima
329	und	Fuera de especificación máxima

Los valores de capacidad comprendidos para la boquilla 3 corresponde a $C_p=0,411$ y $C_{pk}=0.131$ valores no satisfactorios para la definición de la capacidad de esta unidad de operación, el equipo requiere intervención. Los índices de capacidad se encuentran presentes arrojando una probabilidad de 1,9% de productos que pueden llegar a estar por fuera de la especificación esperada, lo cual en unidades y bajo la simulación de mil productos se esperarían 17 productos fuera de la especificación mínima por cada 1000 productos envasados por esta boquilla.

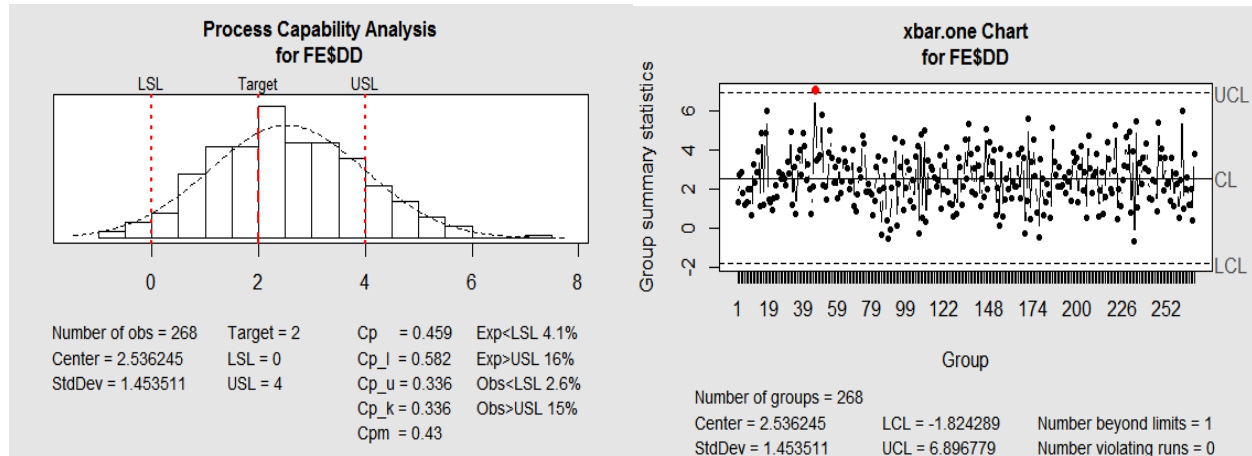
Los valores de pérdidas en el proceso son iguales a 3288 gramos de sobre llenado y 329 unidades sobre el límite superior de especificación, con un total de 1653 gramos que se agregaron de más en las unidades que incumplieron con el margen máximo de 4 gramos.

El índice de centramiento k para el proceso de dosificado en la boquilla 3 es igual a 68% que corresponde a un valor superior a lo esperado entre 0 y 20%. Indicando que la media real del proceso que encuentra desviada así el límite superior de especificación.

Observando la gráfica de comportamiento de llenado será necesario tener parámetros de llenado más amplios para no generar unidades fuera de especificación inferior.

Índice de capacidad Boquilla 4

Figura 10
Capacidad de Proceso boquilla 4



Capacidad de proceso boquilla 4, Elaboración propia.

Tabla 10
Simulación de resultados boquilla 4

Resultado	UMB	Concepto
2534	g	Perdidas a partir de lo declarado al cliente
34	und	Unidades fuera de especificación mínima
747	g	Perdidas después de la especificación máxima
156	und	Fuera de especificación máxima
27	%	Valor de centramiento del proceso (k)

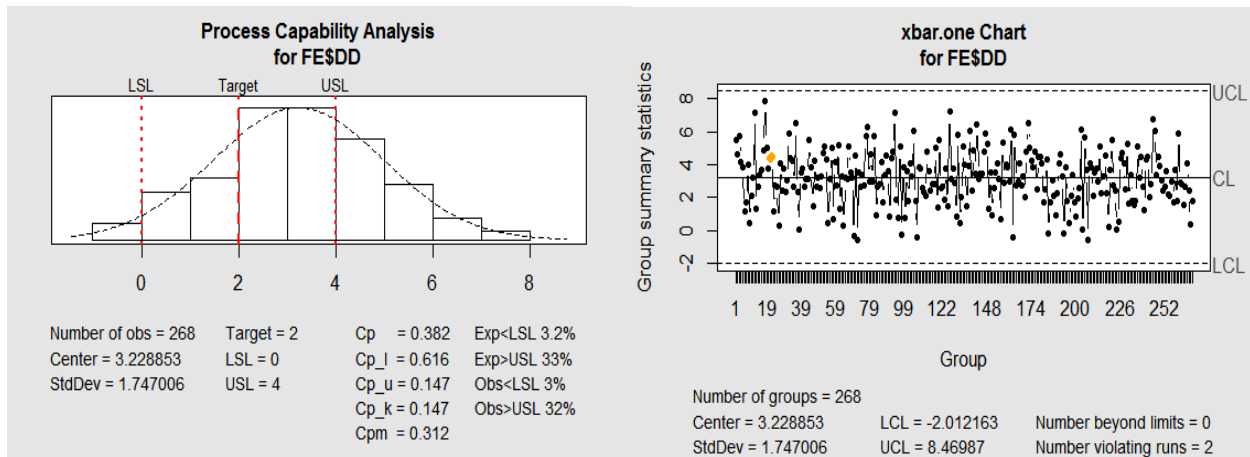
Simulación para los resultados de 1000 unidades producidas. Elaboración propia.

Para la boquilla número 4 los valores de capacidad $C_p=0.459$ y $C_{pk}=0.336$, se encuentran lejos de los esperado 1, que simbolizaría que el proceso se encuentra bajo control. Por otro lado, la posibilidad de encontrar unidades fuera de especificación inferior es igual a 4,1 %. Las pérdidas del sistema de llenado 4 estimadas en 2534 gramos por cada mil unidades envasadas y el número de unidades por encima de la especificación máxima sería igual a 156, con unas pérdidas estimadas de 747 gramos para las 156 unidades mencionados.

El índice k en este caso refleja un valor del 27% reflejando que el valor medio de los datos no coincide con el valor medio de especificación y que se encuentra volcado al lado derecho de los límites de control establecidos. Observando la gráfica del comportamiento de este proceso, se puede considerar que los rangos exigidos no serán posibles alcanzarlos bajo de regularidad del sistema.

Índice de capacidad Boquilla 5

Figura 11
Capacidad de Proceso boquilla 5



Capacidad de proceso boquilla 5, Elaboración propia.

Tabla 11
Simulación de resultados boquilla 5

Resultado	UMB	Concepto
3193	g	Perdidas a partir de lo declarado al cliente
33	und	Unidades fuera de especificación mínima
1605	g	Perdidas después de la especificación máxima
313	und	Fuera de especificación máxima
61	%	Valor de centramiento del proceso (k)

Simulación para los resultados de 1000 unidades producidas. Elaboración propia.

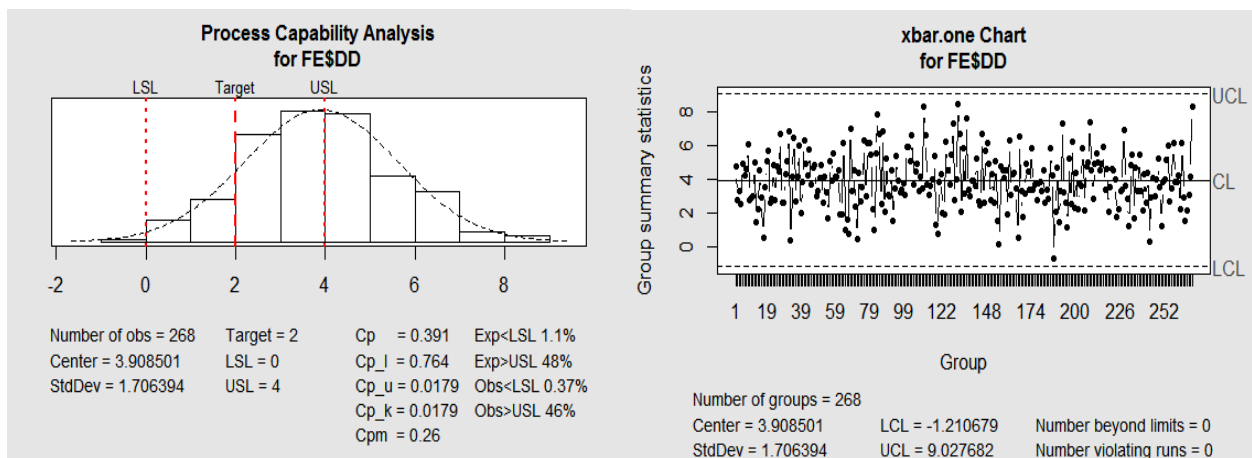
La boquilla 5 no es ajena a los malos resultados de capacidad Cp y Cpk. En este caso los valores para los indicadores son los siguientes Cp=0,382 y Cpk=0,147. El índice Cpk refleja un proceso corrido al lado derecho ya estableciendo que los valores de perdidas serán bastante altos.

Las estimaciones del riesgo sobre el proceso de llenado la boquilla 5 deberían estar lejos de la probabilidad de suceso, pero por lo contrario reflejan un 3,2% de probabilidad que algo salga mal, demuestra la varianza de los datos es demasiado alta.

El indicador K refleja un valor del 61% que traduce que la media de las medidas está muy lejos de ser la media de las especificaciones, indicando pérdidas de sobrellenado bajo la simulación de 3193 gramos por cada 1000 unidades llenas.

Índice de capacidad Boquilla 6

Figura 12
Capacidad de Proceso boquilla 6



Capacidad de proceso boquilla 6, Elaboración propia.

Tabla 12
Simulación de resultados boquilla 6

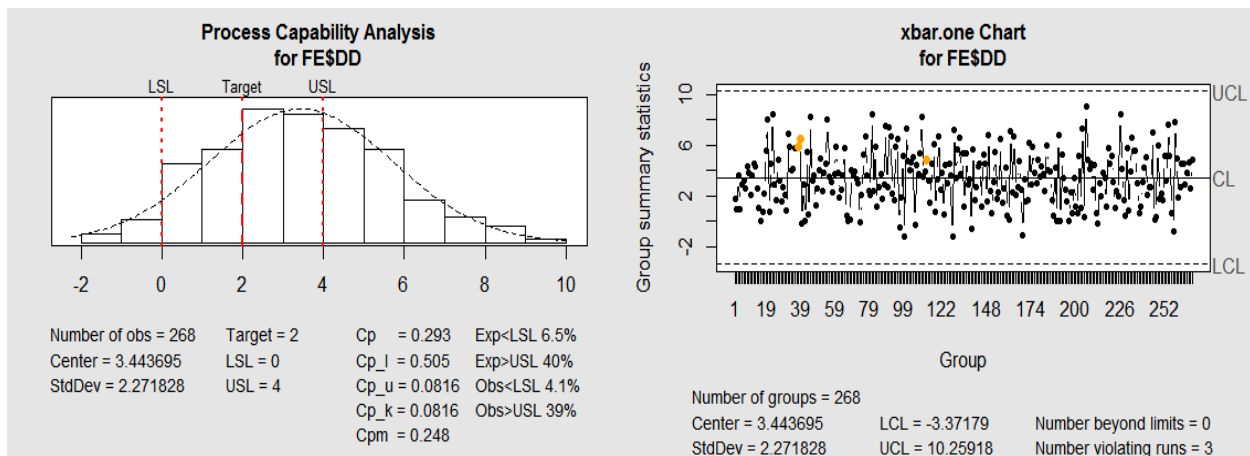
Resultado	UMB	Concepto
3867	g	Perdidas a partir de lo declarado al cliente
13	und	Unidades fuera de especificación mínima
2472	g	Perdidas después de la especificación máxima
459	und	Fuera de especificación máxima
95	%	Valor de centramiento del proceso (k)

Simulación para los resultados de 1000 unidades producidas. Elaboración propia.

La boquilla 6 muestra valores de capacidad $C_p=0,391$ y $C_{pk} = 0,0179$ no satisfactorios, el sistema requiere planes de mejora urgentemente. El indicador de riesgo para el sistema rebela una probabilidad del 1,1% de que un producto este por debajo del límite establecido. Las pérdidas del sistema comprenden 3867 gramos por sobre llenado, las unidades fuera de la especificación superior 459 y el índice $k=95\%$ mostrando que la media de este proceso está por igualar el límite superior de control.

Índice de capacidad Boquilla 7

Figura 13
Capacidad de proceso boquilla 7



Capacidad de proceso boquilla 7, Elaboración propia.

Tabla 13
Simulación de resultados boquilla 7

Resultado	UMB	Concepto
3378	g	Perdidas a partir de lo declarado al cliente
64	und	Unidades fuera de especificación mínima
2175	g	Perdidas después de la especificación máxima
385	und	Fuera de especificación máxima
72	%	Valor de centramiento del proceso (k)

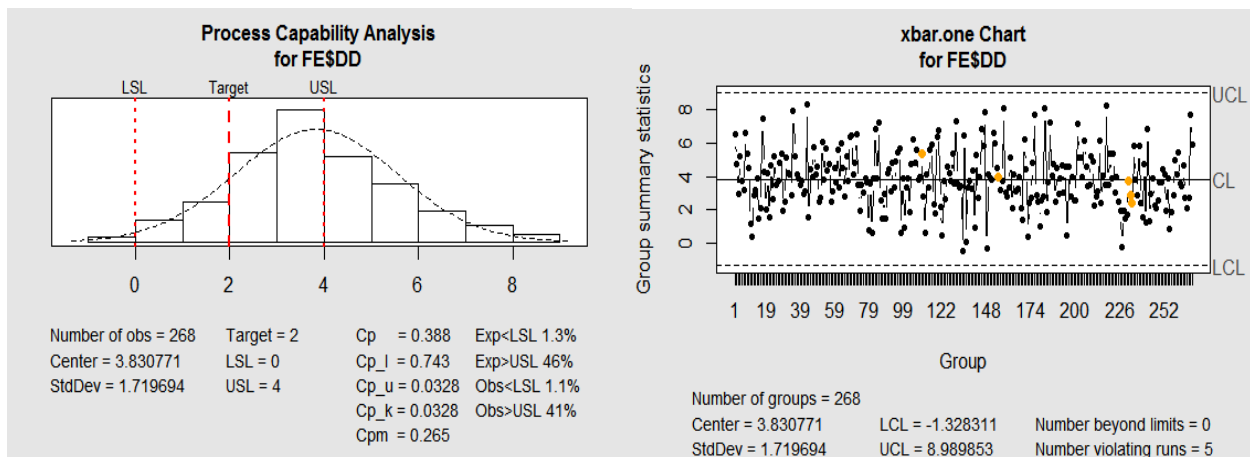
Simulación para los resultados de 1000 unidades producidas. Elaboración propia.

Para la boquilla 7 los resultados son ineficientes dejando resultados de capacidad $C_p=0,293$ y $C_{pk}=0,0816$ insuficientes para el proceso, dejando evidencia que se requiere de manera urgente

intervenir e procesos de mejora. Para el análisis de productos fuera de especificación mínima se tiene una probabilidad de suceso igual a 6,5% , productos que estarían por debajo del límite inferior de especificación con un alto riesgo de infringir la normatividad vigente para los productos preempacados. Los indicadores de pérdidas se estima 3378 gramos de sobrellenado para cada 1000 unidades empacadas. Considerando los valores de la simulación en 385 unidades que se encontrarían encima de la especificación máxima. El índice k para esta boquilla igual a 72% refleja una media de la muestra cerca al valor superior de especificación notándose así que el proceso es bastante irregular y descentrado.

Índice de capacidad Boquilla 8

Figura 14
Capacidad de proceso boquilla 8



Capacidad de proceso boquilla 8, Elaboración propia.

Tabla 14
Simulación de resultados boquilla 8

Resultado	UMB	Concepto
3845	g	Perdidas a partir de lo declarado al cliente
10	und	Unidades fuera de especificación mínima
2461	g	Perdidas después de la especificación máxima
460	und	Fuera de especificación máxima
92	%	Valor de centramiento del proceso (k)

Simulación para los resultados de 1000 unidades producidas. Elaboración propia.

Los índices de capacidad correspondiente a la unidad 8 son $C_p=0,388$ y $C_{pk}=0,0328$ son insuficientes para denominar que el proceso está controlado, dados estos resultados el proceso requiere acciones de mejora oportunas, los índices de riesgo dejan como resultado el 1,3% de probabilidad de que el existan unidades por debajo de la especificación inferior. Las pérdidas generales del sistema de dosificado alcanzan 3845 gramos por cada mil unidades y un total de 460 unidades sobre el límite superior de especificación. El indicador $k = 92\%$ refleja un proceso totalmente descentrado tanto así que su media está a punto de igualar el límite superior de especificación.

En la tabla 13 se resumen los indicadores de capacidad del proceso de llenado para M6 por cada uno de sus subsistemas involucrados en el ejercicio de llenado.

Tabla 15
Resumen de índices.

Boquilla	Capacidad C_p	Capacidad C_{pk}	Perdidas (g)	Riesgo (und)	k
1	0.4888	0.3710	2413.3	36	24%
2	0.5518	0.2840	2968.7	8	49%
3	0.4114	0.1310	3443.9	21	68%
4	0.4586	0.3360	2521.9	39	27%
5	0.3816	0.1470	3264.8	26	61%
6	0.3907	0.0179	3865.9	9	95%
7	0.2934	0.0816	3496.3	58	72%
8	0.3877	0.0328	3777.2	16	92%

Resumen de Resultados. Elaboración propia.

Categorización de Eventos

Las categorizaciones de los datos permitirán obtener una idea más concisa del análisis de datos, al ver de amplia manera el comportamiento de todos los subprocesos de llenado.

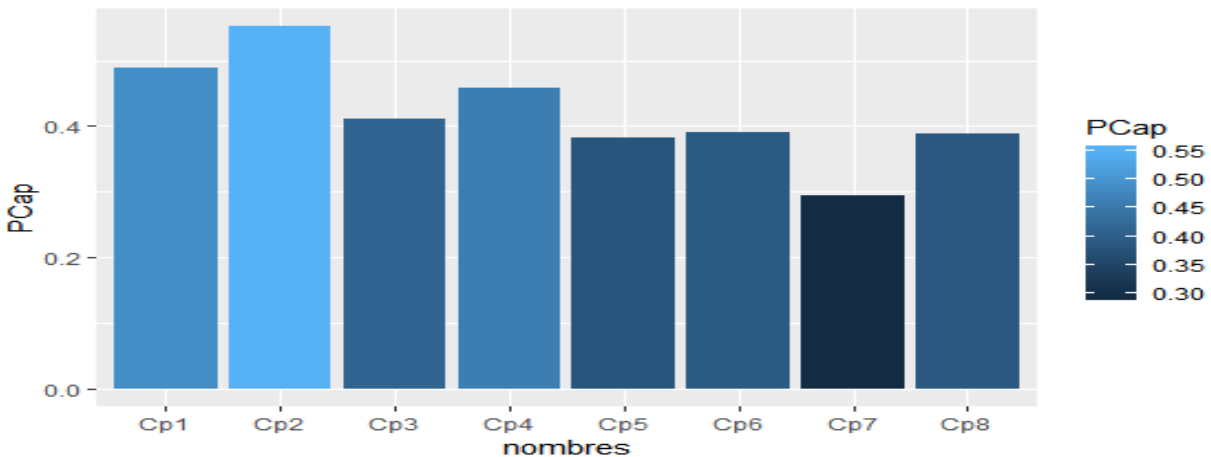
Categorización de la capacidad del proceso

La finalidad de la gráfica es reflejar todos los resultados de capacidad del sistema consiguiendo así brevemente distinguir cuales son las boquillas con mayor grado de deficiencia, véase en la

gráfica el eje “y” como el valor de la capacidad “Cp”, en el eje “x” cada una de las boquillas evaluadas, considerando la tonalidad del color, entiéndase como el azul claro el proceso más satisfactorio a pesar de no alcanzar lo deseado, de tonalidad más oscura los procesos menos capaces de cumplir con las especificaciones.

La figura 18 refleja los resultados en conjunto de los índices de capacidad esto con el fin de comprender que unidad corresponde a la más eficiente dentro del proceso de producción.

Figura 15
Índices de Capacidad Conjunta



Índices de capacidad Conjunta. Elaboración propia.

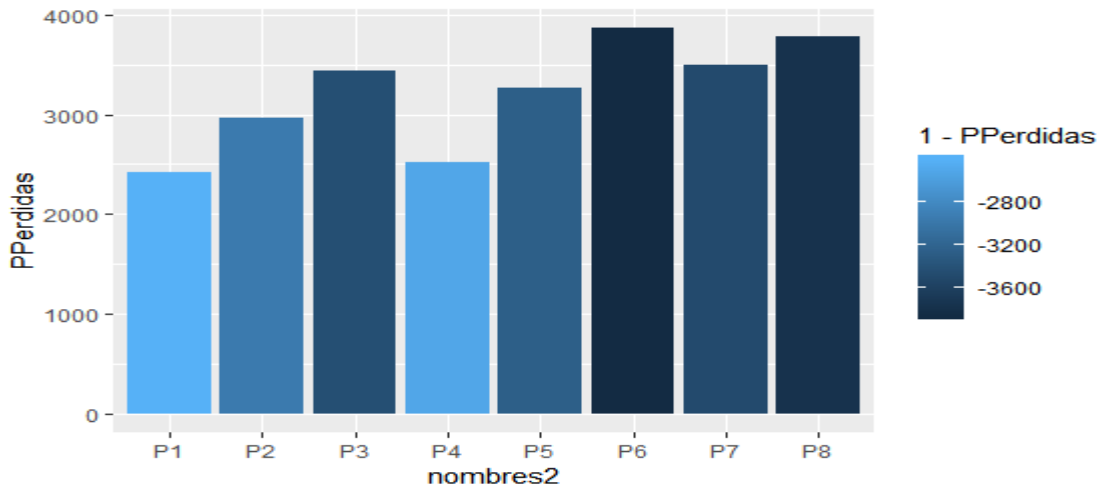
Se observa en la Ilustración 18 que el mayor grado de variabilidad esta en el subsistema de dosificado “Boquilla” 7, a pesar de que ninguna de las unidades alcanza resultados satisfactorios como mínimo se debe esperar la uniformidad del desempeño del proceso.

Pérdidas Totales

Las pérdidas por sobre llenado el cual comienza en el momento que el producto contiene más producto que el ofrecido al consumidor, los valores se encuentran expresados en gramos que serán fácilmente observados en el eje “y”; de color azul claro los resultados más satisfactorios y de color

azul oscuro los resultados que expresan un mayor grado de pérdidas. En la tabla 17 se observan los valores de pérdida de cada uno de los subsistemas.

Figura 16
Pérdidas Totales sobrellenado



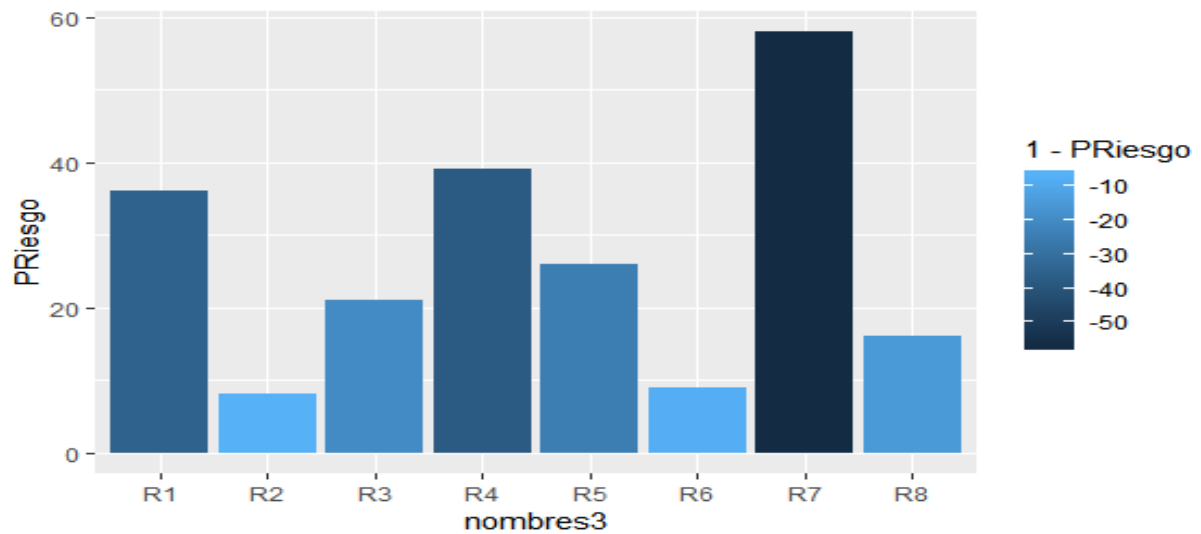
Pérdidas totales. Elaboración propia

En la anterior figura se puede observar que la boquilla 6 y 8 son las que comprenden un mayor grado de pérdidas. La boquilla 8 alcanza 4000 gramos de pérdida por cada unidad embotellada, lo cual representa un nivel de pérdidas bastante alto.

Riesgo generalizado

En la Ilustración 20 se observan todos los resultados del riesgo para cada una de las boquillas pertenecientes al estudio, el riesgo está en las unidades que estarían por fuera de la especificación mínima, estas representan la posibilidad de tener sanciones bajo las condiciones expuestas por la Superintendencia de Industria y Comercio.

Figura 17
Riesgo generalizado por boquilla



Unidades por boquilla que incumplen con la especificación. Elaboración Propi

Categoricamente las boquillas con mayor riesgo de generar productos por debajo de especificación son la boquilla 7 y la boquilla número 4, estas se encuentran lejos de un promedio general de riesgo de equipo y deberán ser las primeras en involucrar al momento de generar cambios en el sistema. En conjunto todo el sistema se encuentra en riesgo de producir productos fuera de las especificaciones mínimas declaradas.

Conclusiones y Recomendaciones

El diseño muestral para la data “Registros de dosificado” de la máquina M6 se abordó mediante el desarrollo de un muestreo aleatorio simple, para el caso de estudio se eligió un margen de error de 0.05 por lo cual se calculó que la muestra estará en 268 unidades muestrales para cada boquilla generando así una muestra óptima para los cálculos de capacidad del equipo.

Se generan los indicadores de capacidad para el conjunto de boquillas propias de la maquina M6, dejando como evidencia que ninguno de sus resultados es óptimo. Estimando todos los resultados de Cp y Cpk inferiores a 1, encontramos que el sistema de dosificado de la maquina M6. No garantiza un dosificado adecuado de los productos hay envasados. En general se debe intervenir en búsqueda de oportunidades de mejora que puedan hacer que los indicadores logren niveles satisfactorios.

Se determina categóricamente los subsistemas de dosificado dejando como resultado para capacidad de proceso la boquilla 2 como la más capaz dentro del conjunto analizado, pero aún lejos de ser un buen resultado, adicional se tiene la boquilla 7 como la menos eficiente en el proceso con una gran oportunidad de ser intervenida y por lo menos lograr alinearla al promedio conjunto del sistema en cuanto al resultado de capacidad.

Se halla que las boquillas que encabezan la lista en temas de pérdidas corresponden a la boquilla 6 y 8, ambas con resultados cercanos a los 4000 gramos de sobrellenado por cada 1000 unidades producidas; resultado que se deberá asociar a los costos directos del producto y responder por los resultados económicos de la máquina. En cuanto al producto fuera de especificaciones, se observó que es demasiado riesgoso el sistema, y encabezando la lista la boquilla 7 y 4 generan mayor riesgo desde el punto de vista legal.

En general el sistema de dosificación de M6 no es adecuado en ninguno de los índices evaluados; capacidad, riesgo y pérdidas. Para lo cual se sugiere a la empresa comenzar por alejarse de la probabilidad de incumplir con las determinaciones legales, ajustando el nivel del dosificado hasta obtener cero riesgos de unidades fuera de especificación mínima.

Con la intención de que el proyecto continúe en el futuro se deja como recomendación abordar el estudio de capacidad desde el punto de vista de los parámetros fisicoquímicos de los productos para determinar si es la composición de los productos que hacen que las variaciones sean tan altas o por lo contrario es la unidad mecánica no apropiada.

Bibliografía

- Ciro Martínez Bencardino. (19 de 05 de 2012). *Estadística y Muestreo*. Bogotá: ECOE Ediciones. Obtenido de www.maximaformacion.es.
- Cosmobot. (30 de 04 de 2019). *Modo de dosificación con introducción de la boquilla*. Obtenido de <http://www.cosmobot.pt/modo-de-dosificacion-con-introduccion-de-la-boquilla-50-mm.php>
- cran.r-project. (23 de 06 de 2019). *cran.r-project.org*. Obtenido de <https://cran.r-project.org/web/packages/nortest/nortest.pdf>
- Douglas C, M. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control Seventh Edition*. (S. Hong, Ed.) Christopher Teja.
- epn. (19 de 05 de 2019). *epn.gov.co*. Obtenido de http://epn.gov.co:8080/epn.gov.co/elearning/distinguidos/SEGURIDAD/13_riesgo_amenaza_y_vulnerabilidad.html
- Felicidad Marqués Asensio. (2017). *R EN PROFUNDIDAD*. México: Alfaomega.
- Gutierrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2013). *Control Estadístico de la calidad y Seis Sigma (Vol. Tercera Edición)*. (P. E. Roig, Ed.) Guanajuato, México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Ingeniería Industrial. (13 de 05 de 2019). *Capacidad de Proceso*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gesti%C3%B3n-y-control-de-calidad/capacidad-de-proceso/>
- Morillas, A. (No específico). *Muestreo en poblaciones finitas*.
- Organización Internacional de Normalización. (2015). *ISO 9001 2015*.
- Superintendencia de Industria y Comercio. (2003). *Resolución N° 16379 DE 2003. Resolución, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Bogotá, D. C.,*